

УДК 528.7:332.3

М.Ю. Катаев, А.А. Скугарев, И.Б. Сорокин

## Возможности космического мониторинга для целей сельского хозяйства Томской области

Рассмотрены основные возможности применения результатов космического мониторинга для целей сельского хозяйства. Приводятся основные параметры обработки данных измерений, которые могут эффективно быть использованы для регулярного мониторинга состояния сельскохозяйственных полей в течение всего года. Показываются сравнительные характеристики современных спутниковых систем, а также информации, которую с их помощью можно получить и использовать для целей сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** дистанционный космический мониторинг, сельское хозяйство, методы обработки данных.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2017-20-3-186-190

Правительством РФ одобрена Концепция развития России до 2020 г. [1], в рамках которой уровень социально-экономического развития страны должен соответствовать ведущим странам мира. Одним из элементов мирового лидерства является продовольственная независимость, которая существенно зависит от состояния аграрного сектора страны. С учетом концепции в правительстве разработан проект Федеральной целевой программы «Устойчивое развитие сельских территорий на период до 2020 г.» [2]. Учитывая эти документы правительства, возникает необходимость в поиске решений для обеспечения устойчивого развития аграрного сектора страны. На основе международного и в том числе российского опыта развитие можно получить только при широком внедрении разного рода инноваций, одной из которых может быть применение космического мониторинга сельскохозяйственных территорий (СХТ) [3].

В настоящее время уровень развития методов космического мониторинга позволяет получать с различным временным (несколько часов, день и более) и пространственным разрешением (30–250, 500 и 1 км) спектральную информацию (от нескольких единиц до десятков спектральных каналов). Это дает возможность дистанционной оценки различных параметров почвенно-растительного покрова земель сельскохозяйственного использования. Однако в настоящее время необходимо отметить существенный дефицит методов и программного обеспечения обработки и анализа результатов космического мониторинга для задач уровня отдельных сельскохозяйственных предприятий. Можно привести лишь только несколько программных систем.

В Российском центре государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения [<http://www.rosagroland.ru/monitoring>] выполняются геодезические, картографические работы; почвенные, геоботанические, другие обследования и изыскания; инвентаризация земель. Также продукт «Вега» [<http://dev.vega.smislab.ru>] предназначен для анализа состояния растительности. Работа этого программного средства основана на композитных данных спутникового радиометра MODIS с временным

разрешением 8 и 16 дней, которые предназначены для расчета вегетационного индекса NDVI [4]. На уровне Министерства сельского хозяйства РФ проводится разработка автоматизированной программы «Система дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК)». Разработчики хотят в ближайшее время охватить результатами всю территорию России [5].

Однако у перечисленных выше программ специализированных функций для уровня отдельных сельскохозяйственных предприятий в этом программном средстве недостаточно, а имеющиеся функции требуют адаптации к природным особенностям исследуемой территории.

Это требует развития программных систем, результаты которых доступны и понятны большинству специалистов сельского хозяйства, не знакомых с основами космического мониторинга. Нами развивается программная система [6, 7] способная с высокой степенью автоматизации процедур обработки проводить получение, хранение, предварительную и тематическую обработку и анализ результатов обработки. Данная статья показывает возможности данной программной системы по решению различных задач сельского хозяйства.

### Постановка задачи

Существующее программное обеспечение в области использования данных космического мониторинга для целей сельского хозяйства (СХ) чаще всего построено по принципу использования визуальных средств отображения спутниковых снимков в интересах картографии и, в гораздо меньшей степени, для обработки и анализа данных космического мониторинга. Именно анализ результатов обработки данных космического мониторинга требует соответствующей квалификации сотрудников, которых, как правило, нет в сельских хозяйствах. Кроме того, территории различных субъектов РФ могут обладать настолько уникальными климатическими и почвенными характеристиками, что делает невозможным применение единообразных подходов к обработке. Результаты обработки космических данных требуют тщательного сопоставления с назем-

ными измерениями, получаемыми различными организациями в пространстве и времени.

Для эффективной работы сельскохозяйственно-го предприятия определенной территории в течение всего года необходимо сформулировать возникающие производственные задачи, а также найти разнообразные метеорологические, почвенные, условия гидрологического режима, которые влияют на реализацию каждой задачи. Это позволит сформулировать основные требования разработчикам программного обеспечения, а руководителям сельхозпредприятий – возможные преимущества от учета в ежедневной практике результатов обработки данных космического мониторинга.

Действующая система мониторинга сельскохозяйственных угодий не позволяет получать результаты применительно к отдельным задачам локального уровня по выявлению изменений состояния земель (невспаханые, вспаханные, с внесенными удобрениями и др.), прорастания и вызревания растительности и др. Также мониторинг СХТ проводится не в полном объеме по времени и пространству, получая результаты лишь для локальных точек, что не позволяет представить полноценную картину состояния СХТ и строить прогноз для всей изучаемой территории. Слабо проводится оценка качества земель СХТ в полной зависимости от типов культур, используемых процессов, сроков посева и уборки, метеорологических параметров. Это дает все основания для развития новых, инновационных подходов по использованию данных космического мониторинга в сельском хозяйстве, для получения информации практически по всей территории СХТ.

В рамках платформы НТИ (научно-технологическая инициатива [<http://www.nti2035.ru/markets/food-net>]) предложено направление FoodNet, в рамках которого разрабатываются дорожные карты по развитию производства питательных веществ и конечных видов пищевых продуктов, включая аспекты точного земледелия.

В рамках центра космического мониторинга Земли (ЦКМЗ) ТУСУРа решаются многочисленные задачи приема, хранения, обработки и анализа данных космического мониторинга. Одной из функций ЦКМЗ является создание системы мониторинга и прогнозирования событий на СХТ. В рамках этого направления проводится:

- получение, предварительная и тематическая обработка спутниковой информации;
- разработка баз данных хранения результатов поступающей информации и результатов тематической обработки;
- анализ результатов обработки с учетом априорной информации (метеорология, данные о поверхности Земли и др.);
- разработка программных систем предоставления пользователям информации, полученной на стадии анализа;
- популяризация научных и технических знаний в области космического мониторинга;

– привлечение различных организаций для верификации полученных данных (например, ФГБУ «Станция агрохимической службы «Томская» [[agrohim.tomsk.ru](http://agrohim.tomsk.ru)]) и совершенствования разработанных методов обработки космической информации для оценки и анализа СХТ.

#### **Задачи сельского хозяйства**

Все задачи, решаемые в сельском хозяйстве, связанные с растениеводством, можно разделить на четыре части: подготовка, посев, мониторинг роста и уборка [8, 9]. Для каждой части есть свои специфические подзадачи, которые необходимо выполнить для достижения максимального эффекта от выполняемых действий. Определенная часть из подзадач может быть решена только на уровне наземных измерений, а другая часть вполне может быть выполнена при помощи анализа обработки данных космического мониторинга. На основе наземных данных проводится калибровка результатов обработки данных космического мониторинга. В таких случаях контрольные измерения выполняются в отдельных точках СХТ, а остальная площадь земель может быть обследована с использованием данных космического мониторинга.

Укажем некоторые задачи, которые имеют регламентный характер и достаточно эффективно решаются с использованием данных космического мониторинга:

- 1) распределение посевов (в масштабе отдельного поля с точностью до 1 га);
  - 2) идентификация сельскохозяйственных культур в период созревания;
  - 3) пространственное распределение фитомассы для каждого поля в течение вегетационного периода растений (всхожесть, рост, вызревание и др.);
  - 4) временное развитие растений для каждого поля;
  - 5) качество земельных ресурсов и его изменение в процессе их эксплуатации по данным весенней и осенней вспашки;
  - 6) климатические характеристики территории поля (температура, влажность, осадки и др.);
  - 7) статистические данные изменений параметров за временной промежуток в несколько лет;
  - 8) изменение характеристик СХ поля в течение вегетационного периода;
  - 9) оценка зарастания древесно-кустарниковой растительностью неиспользуемых СХТ;
  - 10) картографические характеристики полей (оценка конфигурации, удаленность от хозяйственного центра и др.);
  - 11) рельефные особенности;
  - 12) выявление неиспользуемых земель и фактов несанкционированного использования сельскохозяйственных земель;
  - 13) выявление участков проявлений деградации земель (переувлажнения, заболачивания и др.).
- Естественно, что состояние СХ земель в ходе регулярного использования изменяется, так как нарушается почвенный покров и происходит деграда-

ция, которая приводит к ухудшению плодородия. Поэтому возникает задача оценки использования земель, получения количественной информации для разработки обоснованных мер к восстановлению плодородия почв и устранению деградационных процессов.

Удаленность и расположение полей СХ назначения друг от друга вызывает необходимость в разработке системы регулярного контроля над этими земельными ресурсами. Знание истории использования земельных участков позволит не только знать реальное настоящее состояние, но и делать соответствующие прогнозы. В этом плане комплексирование данных космического мониторинга с результатами наземных измерений и метеорологическими данными позволит построить адекватную реально-сти модель для различных временных периодов года.

Для изучения состояния земель СХ назначения необходимо осуществлять работы по сбору, обработке и анализу разнородной информации, которая необходима для решения задач (некоторых из многочисленно реализуемых на практике), представленных в табл. 1.

#### Космический мониторинг типов поверхности

В настоящее время на орбитах находятся спутниковые приборы космического мониторинга, данными которых можно воспользоваться для решения СХ. В табл. 2 указаны приборы, данные измерения которых находятся в свободном доступе. Сравнивая результаты табл. 1 и 2, можно увидеть, что большинство представленных спутниковых данных возможно использовать для решения задач СХ. Комплексирование данных измерений и априорной информации может позволить более надежно контролировать территорию СХ земель.

Типичные сельскохозяйственные растения имеют низкую степень спектрального отражения

солнечного излучения [10] в видимой части спектра (0,3–0,6 мкм), высокую в ближнем инфракрасном диапазоне (0,7–1,0 мкм) (см. рис. 1).

В спектре отражения растений заметны характерные изменения за счет влияния полос поглощения водяного пара. Суммарное отраженное от растений излучение зависит от их структуры, листовой поверхности, стадии роста, климатических условий, типа почвы и др. Для анализа состояния растений на основе данных космического мониторинга рассчитываются разнообразные вегетационные индексы, которые применяются для решения разнообразных задач (см. выше п. 1–13). Ниже приведем некоторые индексы, которые наиболее часто применяются на практике:

1) Нормализованный вегетационный индекс  $NDVI = (RED - NIR) / (RED + NIR)$ .

2) Скорректированный почвенный индекс  $SAVI = (1 + L) * (NIR - RED) / (L + NIR + RED)$ .

3) Зеленый индекс хлорофилла  $CIG = (NIR / GREEN) - 1$ .

4) Вегетационный хлорофилловый индекс  $CVI = (NIR * RED) / GREEN^2$ .

5) Расширенный вегетационный индекс  $EVI = 2,5 * (NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7,5 * BLUE + 1)$ .

6) Корректированный вегетационный индекс  $CTVI = \sqrt{(NDVI + 0,5) * (NDVI + 0,5) / |NDVI + 0,5|}$ .

7) Нормализованный красно-зеленый индекс  $NGRDI = (GREEN - RED) / (GREEN + RED)$ .

#### Программная система

Блок-схема потоков данных и функций в разрабатываемой нами программной системе приведена на рис. 2. Программная система имеет блочную структуру, которая позволяет разрабатывать и модифицировать блоки независимо друг от друга при условии сохранности входных-выходных параметров.

Таблица 1

#### Перечень видов работ по определению состояния земель СХ

№	Вид работ	Периодичность
1	Наблюдения за использованием земель	1 раз в месяц
2	Климатические параметры	Каждый день
3	Обследования почвенного состава земель	1 раз в год
4	Наблюдения по выявлению изменений в состоянии земель	1 раз в месяц
5	Оценка качества земель	1 раз в год
6	Зарастание неиспользуемых земель СХ назначения	1 раз в год
7	Оценка вспаханной территории	1 раз в год
8	Оценка всхожести растений	1 раз в неделю
9	Оценка биомассы растений	1 раз в неделю
10	Оценка роста и созреваемости растений	1 раз в неделю
11	Оценка деградации земель	1 раз в месяц

Таблица 2

#### Приборы космического мониторинга и их характеристики

Спутниковый прибор	Периодичность, дни	Пространственное разрешение, м	Число спектральных каналов
ASTER	16	15,30	9
AVHRR	1	1000	6
LANDSAT	16	15,30,100	11
MODIS	1	250,500,1000	36
VEGETATION	10	300,1000	7

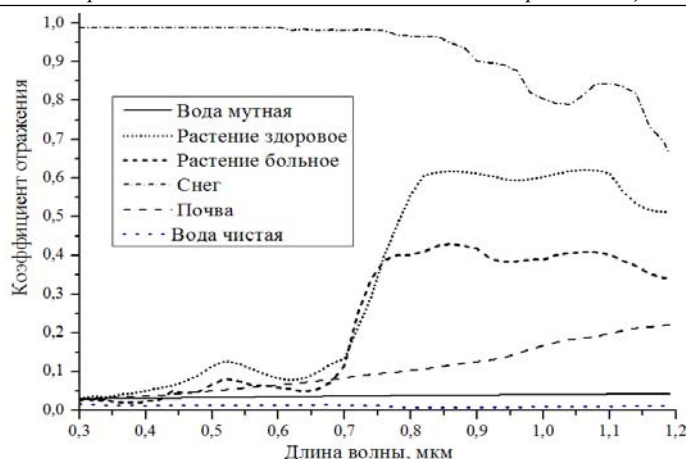


Рис. 1. Спектральные коэффициенты отражения некоторых типов поверхности

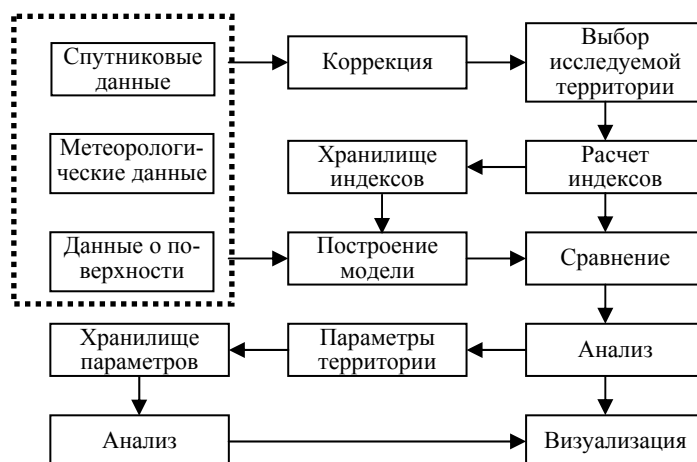


Рис. 2. Блок-схема структуры программной системы приема, хранения и обработки спутниковых данных

Первый блок предназначен для приема и хранения спутниковой информации [6] вместе с априорной информацией (метеорологические данные и данные о поверхности (рельеф, типы поверхности, спектральные коэффициенты отражения)), а также результатов расчета различных индексов и полученных параметров на этапе анализа. Второй блок выполняет функции предварительной и тематической обработки, когда производится коррекция спутниковых данных и расчет разнообразных индексов (некоторые из них приведены выше, см. п. 1–7). Третий блок предназначен для построения пространственно-временных моделей поведения индексов (тренды, сезонная составляющая, параметры годового цикла) и сравнения текущих значений с модельными параметрами. Четвертый блок выполняет функции анализа полученных параметров и определение характеристик текущих процессов [7], необходимых для принятия решений, например на уровне ситуационных центров. К таким процессам можно отнести поражение вредителями, заболачивание, зарастание, подтопление и др.

### Результаты

Результаты работы программной системы для обработки данных спутникового прибора MODIS приведены на рис. 3, где показан интерфейс пользователя системы и временной ход вегетационного

индекса (NDVI), а также вычисленный долговременный тренд для одного из пикселей сельскохозяйственной территории в районе г. Томска. Видно, что тренд является убывающим и этот факт приводит к поиску причин, одной из которых, возможно, является деградация почвы, недостаток питательных веществ, переувлажнение или др.

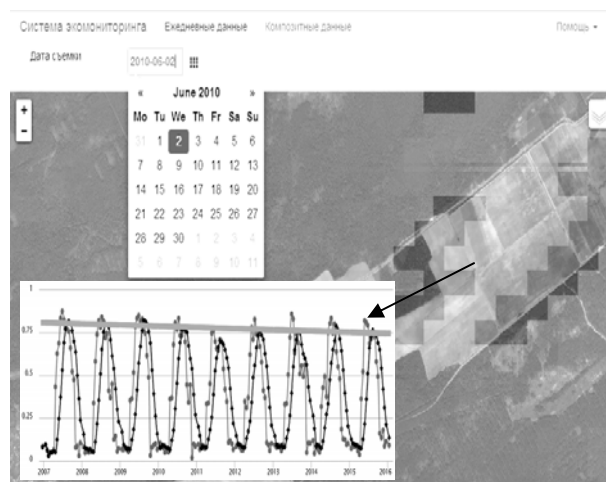


Рис. 3. Расчет трендов по временному ряду NDVI

На рис. 4 приведены результаты расчетов индексов SAVI (скорректированный почвенный ин-

декс) и CVI (вегетационный хлорофилловый индекс). Для всех индексов проводится расчет значений ежедневно, что позволяет строить модели поведения каждого индекса на исследуемой территории и последующего сравнения с текущим значением. Результат сравнения анализируется и выносится решение о попадании разности в диапазон естественной вариации индекса, средней или значительной. Таким образом, программная система отслеживает изменения краткосрочные (день), среднесрочные (неделя, месяц, полгода, год) и долгосрочные (более 3 лет).

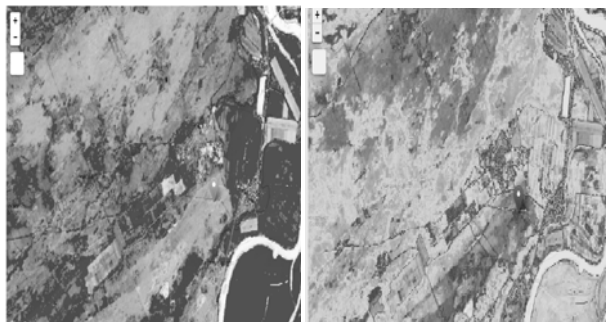


Рис. 4. Расчет индексов SAVI и CVI

### Заключение

В статье рассмотрены некоторые возможности программной системы, разрабатываемой в ЦКМЗ ТУСУРа, для целей сельского хозяйства. Показаны задачи, которые возникают практически в каждом сельскохозяйственном предприятии, и возможное обеспечение решения этих задач с помощью данных космического мониторинга. Приведена блок-схема программной системы и определены функции каждого ее блока, позволяющие решать многочисленные задачи обработки спутниковых данных. Полученные результаты показывают эффективность программной системы для решения задач сельского хозяйства.

Данная работа выполнена в центре космического мониторинга Земли ТУСУРа.

### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 08.08.2009) «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г.» // Информационно-правовой портал «Консультант» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90601](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90601) (дата обращения: 05.05.2017).
2. Постановление Правительства РФ от 15 июля 2013 г. № 598 (ред. от 25.05.2016) «О федеральной целевой программе «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года» // Информационно-правовой портал «Консультант» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_149879](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_149879). (дата обращения: 05.05.2017).
3. Шаповалов Д.А. Методические основы мониторинга земель / Д.А. Шаповалов, П.В. Ключин, А.А. Мурашева. – М.: ГУЗ, 2010. – 300 с.
4. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 1. – С. 190–198.
5. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) / В.А. Толпин, С.А. Барталев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Вып. 6, № 2. – С. 560–571.
6. Катаев М.Ю. Интернет-информационная система накопления, обработки и анализа спутниковых данных MODIS / М.Ю. Катаев, А.А. Бекеров, А.К. Лукьянов // Доклады ТУСУРа. – 2015. – № 1 (35). – С. 93–99.
7. Катаев М.Ю. Интеллектуальный ситуационный центр, основанный на комплексировании космических и наземных данных / М.Ю. Катаев, А.А. Скугарев // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 61–64.
8. Антонов В.Н. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В.Н. Антонов, Л.А. Сладких // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 50–53.
9. Савин И.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России / И.Ю. Савин, Е.А. Лупян, С.А. Барталев // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 69–76.
10. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.

### Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления, науч. рук. центра космического мониторинга Земли ТУСУРа, профессор Юргинского технологического института (филиала) Национального исследовательского Томского политехнического университета  
Тел.: 8-960-975-27-85, +7 (382-2) 70-15-36  
Эл. почта: [kataev.m@sibmail.com](mailto:kataev.m@sibmail.com)

### Скугарев Андрей Анатольевич

Руководитель центра космического мониторинга ТУСУРа  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36  
Эл. почта: [skugarev@inbox.ru](mailto:skugarev@inbox.ru)

### Сорокин Игорь Борисович

Д-р с.-х. наук, директор ФГБУ «Станция агрохимической службы «Томская»  
Тел.: +7 (382-2) 90-49-45  
Эл. почта: [sastom@mail.ru](mailto:sastom@mail.ru)

Kataev M.Yu., Skugarev A.A., Sorokin I.B.

### Possibilities of space monitoring for agriculture in tomsk region

In the article are considered the basic possibilities of applying space monitoring for agriculture. The parameters of measurements data handling that can be efficiently used for the regular condition monitoring of agricultural fields during the whole year are given. Comparative characteristics of the modern satellite systems as well as the information that can be received using this systems and used for the purposes of agriculture are shown.

**Keywords:** remote sensing, agriculture, data processing methods.